

DOI:10.3969/j.issn.1001-4551.2014.01.017

# 电容式电子清纱器系统的设计\*

赵晓东, 华海涛

(杭州电子科技大学 信息与控制研究所, 浙江 杭州 310018)

**摘要:**针对目前电子清纱器主要以模拟电路为主,受元器件老化的影响较大,同时检测效率过低等问题,提出了将数字化电路应用到电子清纱器中的设计方法,以电容为传感元件,实现了一种电容式电子清纱器系统的设计。电容式电子清纱器系统以 ARM STM32 芯片为 CPU,通过系统检测模块对纱线的质量进行了检测,将检测的数据传送给中段板,中段板将储存的数据向上传递给上位机,检测模块同时具有报警显示功能。检测模块通过 RS-485 总线与中段板进行实时通讯,以实现各指令的交换,并接收从上位机发送的配置信息。上位机可通过界面将实时数据进行直观的展现。通过对纱线的检测实验表明,该系统具有高精度、低功耗、实时性的特点,可广泛应用于纱线纺织工业,对纱线质量检测有着较高的水准。

**关键词:**电容;电子清纱器;纱线;低功耗

中图分类号:TH7;TP274

文献标志码:A

文章编号:1001-4551(2014)01-0081-05

## Design of capacitive electronic yarn clearer system

ZHAO Xiao-dong, HUA Hai-tao

(Institute of Information and Control, Hangzhou Dianzi University, Hangzhou 310018, China)

**Abstract:** Aiming at the problems of the present electronic yarn clearers are mainly designed by analog circuits, which are great influenced by aging of components, and the low detection efficiency, a kind of digital circuit was designed into the electronic yarn clearers and the capacitance was used as the sensing element. The development of a capacitive electronic yarn clearer system was achieved. The ARM STM32 chip was used as the CPU of the system, the quality of yarn was detected through the detecting module, the detected data would be delivered to the middle-board, and the stored data would be delivered to the PC by middle-board. The RS-485 bus was used for the detecting module to communicate with the middle-board, which could achieve the goal of commands exchanging, and the detecting module could receive configuration from PC by RS-485 bus. The yarn detecting experiment shows that the system has the characters of accuracy, low power and real-time, which can be widely used in the textile industry of yarn and has a high level for yarn's quality detecting.

**Key words:** capacitance; electronic yarn clearer system; yarn; low power

## 0 引 言

随着当代生活质量水平的提高,人们对衣食住行的要求也变得越来越。其中,“衣”的要求主要来源于人们对棉纺织产品质量的要求,因此,作为棉纺织产品的原材料,纱线扮演着越来越重要的角色。纱线的质量往往影响整批纺织产品的质量。然而,在纱线的生产过程中,由于纺纱工艺以及其他因素的影响,纺出

的纱线不可避免地伴随着纱疵<sup>[1]</sup>的产生。为了提高纺纱工艺,需对生产的纱线进行质量检测,因而电子清纱器应运而生<sup>[2]</sup>。电子清纱器在 20 世纪 50 年代产生,由于其对纱线的检测功能,得到了快速发展。第一代清纱器是瑞士乌斯特生产的 UMA-C 系列,其功能相对比较简单;第二代清纱器于 20 世纪 70、80 年代产生并广泛使用;第三代清纱器于 20 世纪 90 年代产生,其结构和功能较前两代都有了很大的提高。研究人员提

收稿日期:2013-09-12

基金项目:浙江省科技计划资助项目(2010C31016)

作者简介:赵晓东(1971-),男,山西太原人,教授,主要从事控制理论与控制工程方面的研究. E-mail:xdzhao@hdu.edu.cn

出了一种通过检测纱线质量变化来达到对纱线疵点进行检测目的<sup>[3]</sup>的电容式电子清纱器系统。该系统通过对纱线的检测,得到纱线的长度以及宽度等信息,来对纱线进行纱疵的判别,并实时地将检测到的纱疵信息向上位机监控机构进行传输。该系统采用电容作为传感元件来进行纱线检测。与光电式电子清纱器相比<sup>[4]</sup>,电容传感元件较光传感元件不易老化,并且具有不受外部光线环境影响的优点。

本研究搭建电容式电子清纱器系统检测头部分的硬件平台,并对检测头软件进行设计,通过上位机数据的实时显示,证明该系统的精确性和实用性。

## 1 系统功能简介

### 1.1 检测原理介绍

电容式电子清纱器是通过检测纱线质量的变化来实现对纱线疵点进行检测的目的<sup>[5]</sup>。两块平行的电容极板构成了电容传感元件,其检测原理为:当有纱线通过电容极板时,电容极板间的物质由空气变成了空气和纱线共同构成,因此使得极板间的介电常数发生变化,进而使得电容发生变化,可以通过电容的变化量求解出通过极板间的纱线质量。电容式检测原理<sup>[6-7]</sup>的模型如图 1 所示。

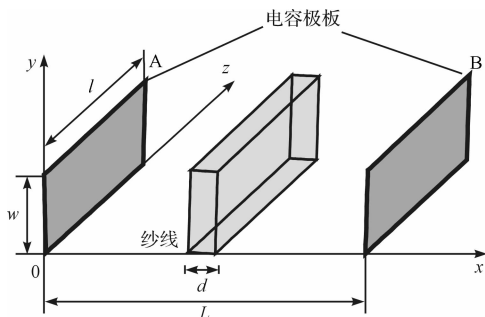


图 1 电容式检测原理图

如图 1 所示建立分析模型,设两块平行电容板 A 和 B 之间的距离为  $L$ ,每块电容极板的长度为  $l$ ,宽度为  $w$ ,则平行电容极板的面积为: $S_{\text{极板}} = l \cdot w$ 。设空气的介电常数为  $\varphi$ ,当电容极板间没有其他物质时有电容值  $C_0$ :

$$C_0 = \frac{\varphi S_{\text{极板}}}{4\pi L} \quad (1)$$

当电容极板间有介电常数为  $\varepsilon$ ,厚度为  $d$  的纱线通过时,极板间的电容值由纱线电容  $C_1$  和空气电容  $C_2$  两部分组成,纱线电容  $C_1$  和空气电容  $C_2$  分别为:

$$C_1 = \frac{\varepsilon S_{\text{极板}}}{4\pi d} \quad (2)$$

$$C_2 = \frac{\varphi S_{\text{极板}}}{4\pi(L-d)} \quad (3)$$

则极板间电容有如下关系:

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} = \frac{4\pi d}{\varepsilon S_{\text{极板}}} + \frac{4\pi(L-d)}{\varphi S_{\text{极板}}} = \frac{4\pi\varepsilon L + 4\pi(\varphi - \varepsilon)d}{\varepsilon\varphi S_{\text{极板}}} \quad (4)$$

由式(1,4)可得电容变化量  $\Delta C$ :

$$\Delta C = C - C_0 = \frac{\varepsilon\varphi S_{\text{极板}}}{4\pi\varepsilon L + 4\pi(\varepsilon - \varphi)d} - \frac{\varphi S_{\text{极板}}}{4\pi L} = \frac{\varphi S_{\text{极板}}}{4\pi L} \cdot \frac{(\varepsilon - \varphi)d}{\varepsilon L - (\varepsilon - \varphi)d} = \frac{(\varepsilon - \varphi)d C_0}{\varepsilon(L-d) + \varphi d}$$

由于实际检测纱线厚度远小于电容极板间距离,且空气介电常数为 1,纱线的介电常数较大,相比之下,可将上式的  $\varphi d$  忽略,则可将上式简化为:

$$\Delta C = C_0 \frac{d}{L} \quad (5)$$

由式(5)可得,在检测过程中,极板间电容的变化量与通过极板间的纱线厚度成正比。

### 1.2 系统功能介绍

电容式电子清纱器系统主要由下位机检测头<sup>[8]</sup>部分、中段板以及上位机组成。检测头部分以基于 ARM 的 STM32F103C8T6 为控制器,外设有电源模块、电容式检测电路、信号放大电路、RS-485 通讯模块以及报警显示模块构成检测头模块。检测头通过 RS-485 与中段板进行通讯。中段板通过 CAN 总线与上位机进行连接。

该系统检测头部分的主要工作流程如图 2 所示:将需检测的纱线通过电容检测电路的电容极板中间,通过检测电路输出电压模拟量,将输出电压模拟量通过信号放大电路后输入给控制器,控制器通过自带的 A/D 转换器进行模/数转换,并将通过标定得到的线径参考值与实时数据进行比较,同时通过清纱曲线来判断纱疵类型。系统将所获得的数据缓存在控制器的 Flash 区中;并通过报警显示模块显示工艺报警和系统报警;通过 RS-485 通讯模块与中段板进行通讯进行数据传输;中段板通过 CAN 总线与上位机进行数据传输,上位机将数据进行实时显示,并且可向中段板发送配置信息。系统工作流程图如图 2 所示。

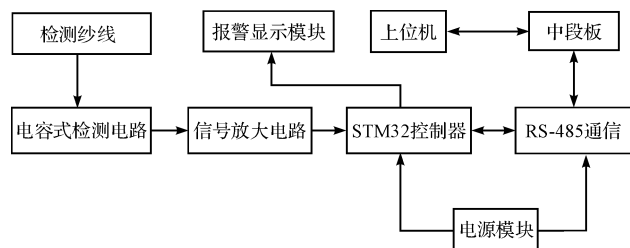


图 2 电容式电子清纱器系统工作流程图

## 2 检测头硬件设计

笔者通过对系统功能的研究,设计检测头的硬件

部分。该系统检测头硬件部分由控制器、电源模块、电容式检测电路、信号放大电路、RS-485 通讯模块以及报警显示模块组成。

## 2.1 电源控制模块

该系统检测头部分包括两个电源模块:第1电源模块通过 LM2596 稳压芯片将外接 12 V 直流电源转化为 5 V 直流电压,并为 RS-485 通讯模块提供工作电源;第2电源模块通过 AMS1117-3.3 稳压芯片将 5 V 直流电压转换为 3.3 V 直流电压,并为控制器以及 RS-485 通讯模块提供工作电源。

在电路设计上,为稳定电压,减小纹波干扰,笔者在电路中加入适当滤波稳压电容,同时在电路中添加发光二极管用以判断电源是否接通。在实际的生产现场,检测头与中段板的连接线可能会分布在大型纺纱机之间,会产生过冲电压对检测头造成影响。为了避免该现象的发生,本研究将自恢复保险丝串联在检测头电压接入端,保证在过冲电压消失后,检测头与中段板的连接线路能够很快地恢复。

## 2.2 信号放大电路设计

该系统设计的信号放大电路原理为:将检测到的纱线信号通过两级放大器放大到适当的电平(一般在几十至几百 mV 范围内)后送到控制器。第1级放大器是同向放大器,交流增益在 15 ~ 20 倍范围内可调。电路采用直接耦合,以减小波形失真。第2级放大器电路形式为电容耦合反相交流放大器。采用电容耦合会造成波形失真,为尽量减小失真,电容耦合常数设计的尽可能地大,并且为满足放大器工作稳定性要求,电路中选用了高输入阻抗型器件。具体电路如图3所示。

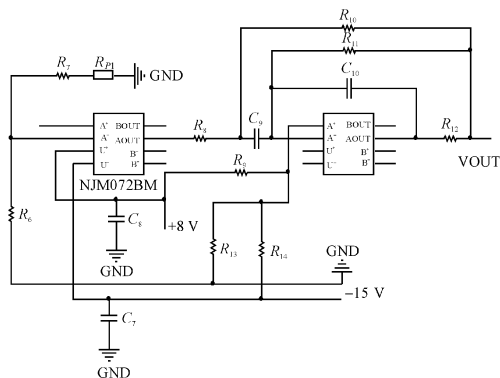


图3 信号放大电路原理图

## 2.3 电容式检测电路设计

该系统检测头部分设计的电容式检测电路如图4所示,由高频振荡电路和检测电路构成。

纱线通过检测电容 CM 时,由于纱线介电常数  $\epsilon$

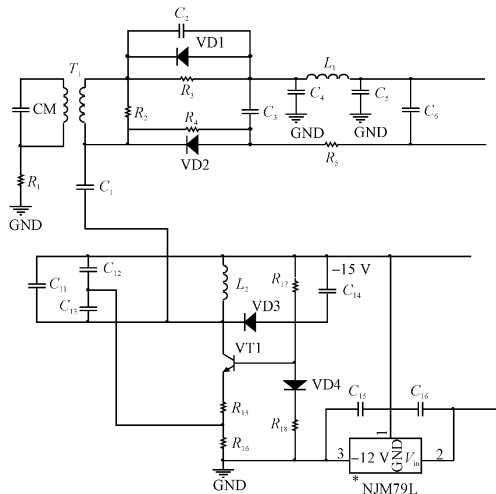


图4 电容式检测电路

大于 CM 中原有空气介质介电常数,这将导致 CM 容量变大,电容的变化经加有高频振荡电压的检测电路后,被转换为相应的低频电压信号,然后经低频放大输出到处理器。

高频振荡电路使用电容三点式振荡器,所谓三点式是指电路中的振荡管(该电路中使用三极管)与 LC 谐振电路有 3 个连接点。该电路最显著的优点是振荡管分布参数影响小,频率稳定度高,本研究设计的检测电路,振荡频率设计在 29 MHz ~ 31 MHz 可调。而该系统的检测电路以检测电容为中心,以二极管和电阻并联的形式构成的实质上是一种平衡检波电路。

## 2.4 控制器及外围电路模块

为达到系统的低功耗、小体积、高精度目的,本研究选用 STM32F103C8T6 芯片<sup>[9-10]</sup>,该芯片的供电电压范围为 2.0 V ~ 3.6 V,芯片自带一系列的省电模式能够保证低功耗的要求。STM32F103C8T6 含有 3 个通用 16 位定时器、2 个 12 位的 ADC、和 1 个 PWM 定时器。还包含多个标准和先进的通信接口:2 个 I<sup>2</sup>C 和 SPI、3 个 USART、1 个 USB 和 1 个 CAN。并且,芯片内置高达 128 KB 的闪存和 20 KB 的 SRAM 高速存储器,可以将大量的检测数据进行缓存。

该系统控制器需要的外围电路供电电源为 3.3 V,连接方式采用单点连接,以减少相互干扰;控制器时钟部分使用 8 M 外部晶振,电路上外加两个 20 pF 的振荡电容;复位电路采用一般的阻容复位电路即可。具体电路如图5所示。

## 2.5 RS-485 通讯模块设计

系统通过提高检测头的采样速率<sup>[11]</sup>来获得更高的检测精度,这将导致检测头与中断板之间的数据传输量较大。因此,本研究在设计过程中采用实时性较

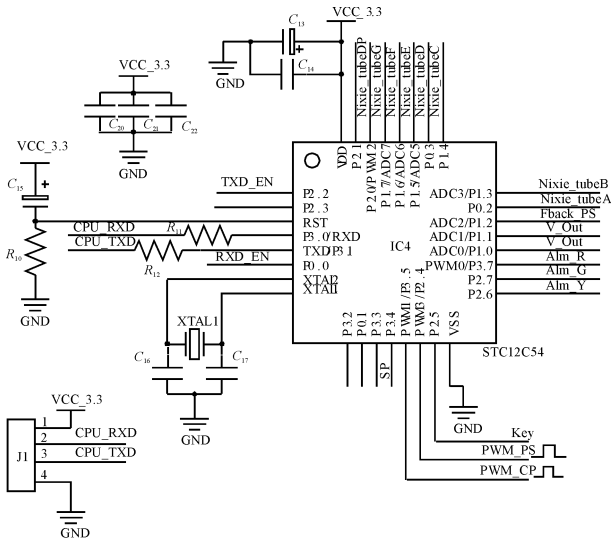


图 5 控制器及外围电路原理图

好的 RS-485 通讯方式来减少检测头与中段板间的数据传输压力。RS-485 因采用差分的数据传输方式具有一定的抗干扰性,同时,RS-485 通讯方式可以满足生产现场检测头与中段板间距离过长的要求。该系统采用的 RS-485 差分总线收发器芯片 SN75176BD,该芯片可在单 4.75 V ~ 5.25 V 电源下产生 RS-485 电平,通过上拉电阻用于保障线路传输,可以避免不必要的通讯错误产生。

### 2.6 报警显示模块

该系统通过一个数码管显示检测头的工作状态,通过软件设定显示不同的数值对应相应的工作状态。当显示的数值为对应的工作异常状态时,可以起到报警显示的作用。

## 3 检测头软件设计

检测头软件主要实现的功能为:对模拟量数据进行数据采集,数据分析,数据存储,与中段板进行通信等。下位机软件程序在 Keil 4 开发环境下用 C 语言编写完成,软件流程图如图 6 所示。

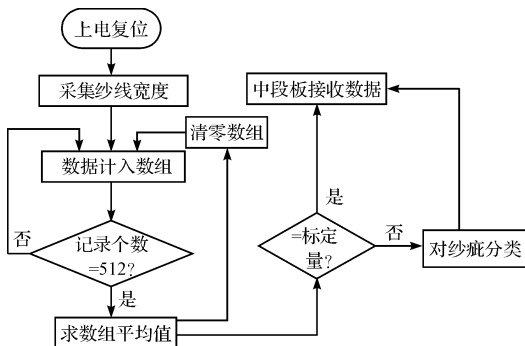


图 6 下位机软件流程图

下位机检测头上电后,开始对纱线宽度进行采集,将采集的数据存入数组中,当存储个数达到 512 个后对数组数据取平均值,将标准的纱线宽度信息固化在程序中作为标定量,将数组平均值与标定量进行比较,同时清零数组数据进行下一组数据存储,数组平均值若与标定量相等,则将数据直接发送给中短板;如不相等,将纱疵进行分类后发送给中段板。

## 4 上位机运行图

本研究搭建了整个系统的硬件平台,并在实际纱线检测环境下,能够正常地运行。通过上位机界面显示,能够实时地将检测数据反映出来。上位机采集的纱线黑板数据如图 7 所示。

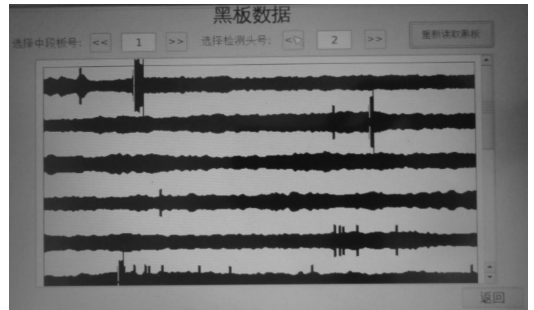


图 7 上位机采集纱线黑板数据显示

## 5 结束语

电容式电子清纱器系统经过实际纱线检测达到预期效果,系统具有采样精度高、实时性好、性能稳定的特点。检测头在采样频率设置成 20 kHz,引纱速度为 180 m/min 的情况下,仍然具有较高的采样效果,通过中段板向上位机传送的数实时据,可在上位机界面进行不同参数类型的展示,反映出系统较好的工作效果,同时在上位机进行修改配置信息操作后,检测头能够迅速地做出相应的操作变化,调整到新的配置环境下工作。系统采用分块化的设计,便于后期的维护与升级,具有很好的市场价值。当然,空气中湿度过大造成纱线吸水引起的测量误差是电容式清纱器的一个通病,在检测前对纱线进行一个干燥处理是一个必要的设计环节。随着传感器件的发展,不同传感器复合在同一清纱器上的的设计模式将是今后清纱器的发展趋势。

### 参考文献 (References) :

[1] PINTO J G, CARVALHO V, MONTEIRO J L, et al. Yarn-mass measurement with 1-mm-length samples [J]. **IEEE Industrial Electronics**, 2007, 54(2) : 1177-1183.

[2] 刘荣清. 电子清纱器的分类和选用 [J]. 纺织器材, 2009,

- 36(4):340-342.
- [3] 舒冰. 电容式电子清纱器纱线检测通道的设计[J]. 上海纺织科技, 2008, 36(7):16.
- [4] 舒冰. 新型电子清纱器及其性能比较[J]. 纺织器材, 2006, 33(4):56-57.
- [5] 朱华, 单象福. 光电式和电容式电路在电子清纱器中的应用[J]. 北京纺织, 1994, 21(2):46-47.
- [6] 张白莉. 电容式传感器的应用和发展[J]. 忻州师范学院学报, 2005, 13(1):13-15.
- [7] 王新海, 唐亚茂, 蔡朋, 等. 电容式液位传感器壳体接地

- 问题分析[J]. 机电工程技术, 2012, 41(3):32-34.
- [8] 杜凤. 电子清纱器检测头的设计[D]. 天津:天津大学光学工程学院, 2006.
- [9] 季力. 基于 STM32 芯片的电参数测量与数据传输[J]. 自动化与仪器仪表, 2010, 3(1):12-13.
- [10] 代成刚, 任德均, 蒋涛, 等. 基于 STM32 的远程多数据采集器的设计[J]. 机电工程技术, 2013, 42(5):31-34.
- [11] 贾孔昊. 电子清纱器系统设计与开发[D]. 杭州:杭州电子科技大学自动化学院, 2013.

[编辑:洪炜娜]

#### 本文引用格式:

赵晓东, 华海涛. 电容式电子清纱器系统的设计[J]. 机电工程, 2014, 31(1):81-85.

ZHAO Xiao-dong, HUA Hai-tao. Design of capacitive electronic yarn clearer system[J]. Journal of Mechanical & Electrical Engineering, 2014, 31(1):81-85.

《机电工程》杂志; <http://www.meem.com.cn>

(上接第 61 页)

得到的比较结果如表 1 所示。最后可以得到前馈逆模型 PID 控制方法能更有效进行迟滞补偿。

表 1 两种控制方法的 RMS 误差

控制方法	均方根误差
逆模型控制	0.063 3
前馈逆模型 PID 控制	0.020 8

## 4 结束语

本研究运用 Preisach 模型和系统传递函数建立了迟滞系统, 通过辨识结果说明离线和在线辨识方法都能有效辨识迟滞系统, 从辨识误差分析结果可以看出, 神经网络在线辨识方法能非常精确地辨识迟滞系统。由迟滞系统补偿结果来看, 迟滞非线性已基本得到消除。该结果说明所提出的前馈逆模型 PID 控制是可行的, 但此时要注意 PID 参数的选取, 避免出现饱和、振荡等情况的发生。

本研究采用的辨识方法和控制技术能够有效地降低智能材料中迟滞现象的影响。其辨识和控制方法具有普遍意义, 可以推广到其他系统中的迟滞非线性补偿控制中。

#### 参考文献 (References):

- [1] 唐志峰, 吕福在, 项占琴. 超磁致伸缩微位移驱动器的非线性迟滞建模及控制方法[J]. 机械工程学报, 2007, 43(6):55-61
- [2] 龚大成, 唐志峰, 吕福在, 等. 非线性 Preisach 理论与超磁致伸缩执行器高阶迟滞建模[J]. 机械工程学报, 2009, 45(12):252-256.

- [3] VISINTIN A. On hysteresis in elasto-plasticity and in ferromagnetism[J]. **International Journal of Non-linear Mechanics**, 2007, 37(8):1283-1298.
- [4] 李黎, 刘向东, 侯朝桢, 等. 混合 Preisach 迟滞模型及其性质研究[J]. 光学精密工程, 2008, 16(2):279-284.
- [5] YEH T J, LU S W, WU T Y. Modeling and identification of hysteresis in piezoelectric actuators [J]. **Journal of Dynamic Systems, Measurement and Control**, 2006, 128(2):189-196.
- [6] MÜHLICH M, MESTER R. The Role of Total Least Squares in Motion Analysis[C] //Proceedings of 5th European conference on Computer Vision, ECCV'98. Germany: Springer Verlag, 1998:305-321.
- [7] LI X, FU X. Synchronization of chaotic delayed neural networks with impulsive and stochastic perturbations[J]. **Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation**, 2011, 16(2):885-894.
- [8] 闻新, 周露, 李翔, 等. Matlab 神经网络仿真与应用[M]. 北京:科学出版社, 2003.
- [9] 陈辉, 邵林. 基于 MATLAB 的数字 PID 控制器仿真[J]. 连云港职业技术学院学报, 2004, 19(2):31-32.
- [10] 齐剑玲, 曾玉红, 刘慧芳. PID 调节器的仿真研究[J]. 海淀走读大学学报, 2004, 8(1):69-71.
- [11] 魏燕定, 陶惠峰. 压电驱动器迟滞特性的 Preisach 模型研究[J]. 压电与声光, 2004, 26(5):364-367.
- [12] 陈定方, 舒亮, 卢全国, 等. 超磁致伸缩致动器建模与控制仿真[J]. 机械工程学报, 2007, 43(8):12-16.
- [13] 魏克新, 王云亮. MATLAB 语言与自动控制系统设计[M]. 北京:机械工业出版社, 2004.

[编辑:洪炜娜]